

基于相位相关的印刷全画面检测中图像定位的研究

郝健强, 唐万有, 蒋瑞雪, 易端阳

(天津科技大学, 天津 300222)

摘要: 结合印刷全画面检测系统的特点和对待检测图像的特定要求, 使用相位相关法解决了印刷全画面检测系统中的图像定位问题。在实现过程中, 运用四元数理论, 充分利用了彩色图像中各通道的色度信息, 在提高处理性能的同时, 尽可能保留定位后彩色图像的忠实再现。经图像质量参数和印刷参数检测软件评价表明, 该方法能够较好地运用到印刷全画面检测系统中。

关键词: 全画面; 相位相关; 四元数; 图像定位

中图分类号: TS815; TS807 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)03-0094-05

Research of Image Registration for Print Whole Image Detection Based on Phase Correlation

HAO Jian-qiang, TANG Wan-you, JIANG Rui-xue, YI Duan-yang

(Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

Abstract: Phase-correlation method was applied to solve the image registration problem of print whole image detection system considering the feature and the specific requirements of the system. The chroma information of each color channel was fully used with quaternion theory during implementation, which improves processing performance and rendering color image faithfully as possible. The method was evaluated by image quality parameters and print detection software. The results showed that this method is applied better in print whole image detection system.

Key words: whole image; phase correlation; quaternion; image registration

当今的印刷工业已经完全进入全自动化、高速化和数字化的时代, 传统的印刷质量检测方法已经不再是保证印刷品高质、印刷过程高效和印刷低成本的最佳手段。随着计算机应用科学的发展和印刷工业自动化水平的不断提高, 计算机视觉系统以其自身获取信息的密度大、速度快、全自动化、客观性和精确性等优点^[1], 完全可以满足当前印刷品质量检测和控制的实时性、全面性和高精度的要求, 因此基于计算机视觉的印刷品全画面质量检测和控制技术成为了当前研究的热点。

目前, 基于计算机视觉的印刷品全画面质量检测系统利用 CCD 对图像进行采集时, 会因采集设备机械原因和外界环境干扰等因素, 导致同一 CCD 在不

同时间采集的图像在空间上存在差异。与此同时, 大多数现有的印刷品检测系统中都采用待测图像与标准图像进行像素级运算检测技术, 因此, 在运算之前必须消除这 2 幅图像在空间位置上的差异, 即对这 2 幅图像进行定位处理, 才能保证运算结果的准确性。

现有的图像定位算法很多, 但是对不同的图像和应用领域来说, 其采用的定位方法可能有很大的差别^[2]。就印刷全画面检测系统来说, 笔者采用定位精度较高的基于频率域的图像定位算法——相位相关法, 增强了定位操作的鲁棒性, 并结合四元数理论, 充分利用 RGB 三通道的颜色信息, 来获取更精确的定位参数, 实现了基于相位相关法的彩色图像定位处理, 并满足印刷样张的多样性和复杂性对算法的适应

收稿日期: 2011-12-14

基金项目: 广东省重大科技专项(2010A080402010)

作者简介: 郝健强(1986—), 男, 山东青岛人, 天津科技大学硕士生, 主攻印刷复制技术及印刷质量控制。

通讯作者: 唐万有(1955—), 男, 天津人, 天津科技大学教授, 主要研究方向为印刷质量控制及质量评价系统、印刷设备及其性能。

性的要求,以及检测系统的全画面性不允许对欲采集图像进行人工干预和先验假设的要求。

1 检测系统中基于相位相关法的图像定位

相位相关法是基于图像的频域傅里叶变换的平移特性来获得定位的变换矩阵的^[3]。针对印刷全画面检测这个具体应用的特点,图像的定位处理可以认为是刚体变换定位,即处理过程只存在反转、旋转和平移 3 类变换。

1.1 相位相关法中平移参数的获得

假定存在 2 幅图像 $f(x, y)$ 和 $g(x, y)$, 其中 $f(x, y)$ 是标准图像, $g(x, y)$ 是 $f(x, y)$ 经平移参数 (x_0, y_0) 变换后得到的待配图像, 即 $g(x, y) = f(x - x_0, y - y_0)$ 。这 2 幅图像所对应的傅里叶变换 $F(u, v)$ 和 $G(u, v)$ 的关系如下:

$$G(u, v) = e^{-j2\pi(ux_0 + vy_0)} F(u, v)$$

其对应的正则化互功率谱表达如下:

$$\frac{G(u, v)F^*(u, v)}{|G(u, v)F^*(u, v)|}$$

其中: $F^*(u, v)$ 是 $F(u, v)$ 的复共轭。通过对互功率谱的傅里叶逆变换, 即可得到一个冲激函数 $\delta(x - x_0, y - y_0)$, 该函数最大值所对应的坐标即为平移参数 (x_0, y_0) 。

1.2 相位相关法中旋转参数的获得

假定存在 2 幅图像 $f(x, y)$ 和 $g(x, y)$, 其中 $f(x, y)$ 是标准图像, $g(x, y)$ 是 $f(x, y)$ 经平移参数 (x_0, y_0) 变换并旋转 θ 后得到的待配图像, 即 $g(x, y) = f(x \cos \theta + y \sin \theta - x_0, -x \sin \theta + y \cos \theta - y_0)$ 。这 2 幅图所对应的傅里叶变换 $F(u, v)$ 和 $G(u, v)$ 的关系如下:

$$G(u, v) = e^{-j2\pi(ux_0 + vy_0)} F(u \cos \theta + v \sin \theta, -u \sin \theta + v \cos \theta)$$

设 MF 和 MG 分别为 F 和 G 的能量, 则有:

$$MG(u, v) = MF(u \cos \theta + v \sin \theta, -u \sin \theta + v \cos \theta)$$

从上式可以看出, 如果将图像 $f(x, y)$ 和 $g(x, y)$ 通过对数极坐标变换公式:

$$\begin{cases} \epsilon = \log \rho = \log \sqrt{x^2 + y^2} \\ \psi = \theta = \arctan(y/x) \end{cases}$$

映射到对数极坐标 (LPM) 中, 则有 $MG(\rho, \theta) = MF(\rho, \theta - \theta_0)$ 。由此可得, 对存在旋转关系的 2 幅图

像, 在对数极坐标中使用相位相关法, 就可以将旋转关系变为平移关系, 使用获取平移参数的方法和空间坐标到对数极坐标的映射关系, 即可得到旋转参数。

2 使用四元数理论改良相位相关法

目前, 大多数图像定位算法针对的是灰度图像。当对彩色图像处理时, 也往往是将其转换成灰度图像或者分离出单通道图像后, 再进行变换参数的求解。这样的处理过程, 首先会使用较多的内存空间来存储原彩色图像、灰度图像或者单通道图像, 造成内存溢出和存储空间的浪费; 其次, 在彩色图像转灰度图像和分离单通道图像时, 会造成时间的浪费和信息损失, 造成最终参数误差的扩大。考虑到上述 2 个原因, 可引入四元数理论对算法进行改进, 一方面其支持三色通道的图像处理, 无须转换成灰度图像或者分离单通道图像, 另一方面, 其支持三色通道的颜色信息结合在一起处理, 充分考虑到各通道对最终色彩形成的影响, 也可以节省运行的时间, 提高算法的效率。

2.1 四元数相关理论^[4]

四元数起源于寻找复数的三维对应物。复数可用于表达二维矢量, 当处理不共面的 3 个或以上的矢量, 就需要新的量来表示这个多维矢量。而爱尔兰哈密顿发明的四元数能够很好地表示多维向量。在笛卡尔坐标系中, 四元数的基本形式是 $q = q_r + q_i i + q_j j + q_k k$, 其中实部是 q_r , 虚部是 $q_i i, q_j j, q_k k$, 并且 i, j 和 k 是相互正交的。当实部 $q_r = 0$ 时, 即得到纯四元数 $q = q_i i + q_j j + q_k k$ 。

在印刷全画面检测系统中, CCD 对印刷品进行采集得到的数据是 RGB 数据, RGB 是 3 个两两正交的颜色分量, 因此可以考虑由彩色图像的四元数模型进行表示, 即 CCD 采集得到的彩色图像可以视为一个实部 $q_r = 0$ 的纯四元数, 即 $q(x, y) = r(x, y) i + g(x, y) j + b(x, y) k$, 其中 $r(x, y), g(x, y)$ 和 $b(x, y)$ 分别表示图像在坐标 (x, y) 处的红绿蓝三通道的灰度值。使用纯四元数对彩色图像进行表示和处理的好处, 在于可以将 RGB 三通道作为一个整体进行处理, 以便于获得更高精度的颜色信息。

2.2 四元数理论对相位相关法的改进

目前常用的傅里叶变换大多数针对的是灰度图像或单通道分离图像, 针对彩色图像进行傅里叶变换时, 可使用四元数傅里叶变换。使用四元数法则对四

元数傅里叶变换进行分解,得到几个复傅里叶变换,它们能利用已有的快速傅里叶变换算法,分别单独计算,然后把这些结合起来,获得期望的四元数傅里叶变换。由于四元数乘法的不可交换性,可得到 3 种类型四元数傅里叶变换公式,分别为左型傅里叶变换、右型傅里叶变换和双边傅里叶变换。在印刷全画面检测系统中,主要使用了左型和右型傅里叶变换和分解,左型傅里叶变换分解^[4]:

$$QF_L(u, v) = \frac{1}{\sqrt{XY}} \sum_{x=0}^{X-1} \sum_{y=0}^{Y-1} e^{-\mu 2\pi(ux+vy)} qf(x, y) =$$

$$F(f_{\parallel}) + F(f_{\perp})\mu$$

右型傅里叶变换和分解^[4]:

$$QF_L(u, v) = \frac{1}{\sqrt{XY}} \sum_{x=0}^{X-1} \sum_{y=0}^{Y-1} qf(x, y) e^{-\mu 2\pi(ux+vy)} =$$

$$F(f_{\parallel}) + F^{-1}(f_{\perp})\mu$$

其中: μ 为单位纯四元数,即模为 1,实部为 0; $F(f_{\parallel})$ 是关于 μ 轴平行的二维傅里叶变换; $F(f_{\perp})$ 是关于 μ 轴垂直的二维傅里叶变换; $F^{-1}(f_{\perp})$ 是关于 μ 轴垂直的二维傅里叶逆变换。

此外,随着四元数傅里叶变换的使用,四元数正则化互相关功率谱的表示如下^[5]:

$$\frac{[F_L^*(u, v)G_{R\parallel}(u, v) + F_L^{-1*}(u, v)G_{R\perp}(u, v)]}{|F_L^*(u, v)G_{R\parallel}(u, v) + F_L^{-1*}(u, v)G_{R\perp}(u, v)|}$$

其中: $F_L^*(u, v)$ 是 $F_L(u, v)$ 的复共轭。通过对互功率谱进行右型傅里叶逆变换,即可得到一个冲激函数 $\delta(x-x_0, y-y_0)$,该函数最大值所对应的坐标即为平移参数 (x_0, y_0) 。

3 基于四元数的相位相关图像定位法

3.1 基于四元数的相位相关图像定位法的实现

基于相位相关法的图像定位的具体流程见图 1。使用 CCD 获取待定位图像,而标准图像的来源一般是印刷机调整到稳定状态后获取的印刷机长签样合格印刷样张。将这 2 幅图像首先通过对数极坐标的转换得到对数极坐标图像(LPM 图像,见图 2),进而对 2 幅 LPM 图像进行四元数傅里叶变换后进行相位相关的计算,得到峰值坐标 (x, y) ,利用公式 $\theta = (y-1) \times 360 / \text{col}$ (col 为图像垂直分辨率)得到旋转角 θ 。

对标准图像先进行 θ 角旋转,再进行 $-\theta$ 角旋转,其间利用双立方插值,该处理方式的目的,是减少双立方插值造成图像颜色信息损失而造成的标准图像

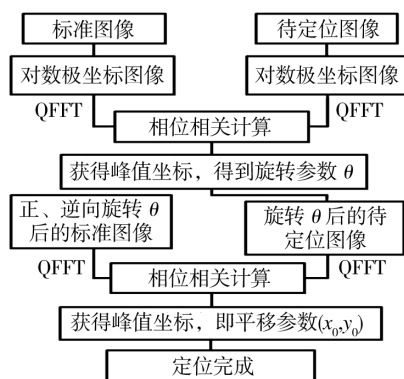


图 1 基于相位相关法的图像定位流程

Fig. 1 Flow chart of image registration based phase correlation method



图 2 使用 Matlab 实现基于四元数相位相关法的图像定位实例

Fig. 2 Image registration based quaternion phase correlation method by Matlab

和待定位图像之间的较大误差,特别是在墨量检测阶段的误差;对待定位图像进行 θ 角旋转,由于相位相关只能在 2 幅大小相同的图像之间运算,在变换中需要保持图像大小不变;最后,对经正逆旋转变换后的标准图像和旋转后待定位图像进行傅里叶变化和相位相关计算,得到峰值坐标 (x, y) ,进而得到平移变换参数 $(x-1, y-1)$ 并进行平移变换,进而完成整个定位操作。此过程使用 Matlab GUI 编程实现,见图 2。

3.2 基于四元数的相位相关图像定位法的评价

对基于四元数的相位相关图像定位法的评价主要分 3 个部分进行,即图像质量参数评价、鲁棒性评价和印刷质量检测软件评价。

3.2.1 图像质量参数评价

主要采用了与定位操作相关的图像质量参数^[7],

有均方根误差(RMSE)、均方误差(MSE)、峰值信噪比(PSNR)、归一化互相关(NCC)、平均灰度差值(AD)、结构化内容(SC)、最大灰度差值(MD)和归一化绝对误差(NAE)等。

将标准图像(记为 S)、正逆旋转后的标准图像(记为 R)和定位后图像(记为 F)两两进行相互比较,具体参数见表 1。从表 1 看出,S 和 R,F 的一致性较

差,主要在于旋转过程中使用的图像插值算法丢失了一部分颜色信息,而导致一致性的下降。R 和 F 能够得到较高的一致性,其主要原因在于使用相同的双立方插值,使得最后的图像色彩还原较为一致,最终才能适应后续的印刷参数检测系统,减少预处理阶段造成的错检。

表 1 标准图像、正逆旋转后的标准图像和定位后图像的质量评价

Tab.1 Quality evaluation of standard image, rotated-inverse-rotated image, and registered image								
质量参数	RMSE	MSE	PSNR	NCC	AD	SC	MD	NAE
S/R	2.426 5	5.887 9	40.431 2	0.998 4	-0.048 4	1.002 6	51	0.013 5
S/F	2.546 7	6.485 6	40.011 3	0.998 4	-0.041 8	1.002 5	56	0.014 1
R/F	1.234 7	1.524 5	46.299 5	1.000 0	0.006 6	0.999 9	27	0.008 7

3.2.2 鲁棒性评价

针对印刷全画面检测系统中定位操作鲁棒性的评价,主要测试点、线、面 3 种缺陷^[8]对定位参数准确度的影响,测试样张见图 3。点缺陷主要是由漏印、

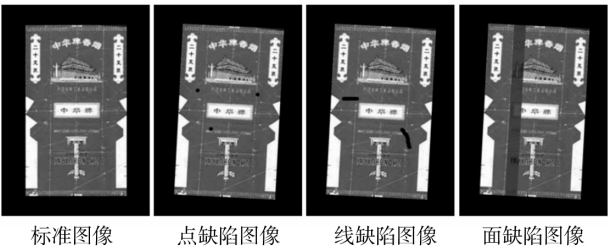


图 3 定位参数的鲁棒性评价

Fig. 3 Robustness evaluation of registration parameters

飞墨、污点而造成,线缺陷主要是由刀丝、划痕、褶皱而造成,面缺陷主要由脏版、糊版造成。通过这 3 类缺陷样张的测试,均得到了准确的旋转角度和平移参数。

3.2.3 现有的印刷质量检测软件评价

将标准图像和定位图像载入到墨量检测系统中^[9],进行适应性检测,检测结果见图 4。通过墨量检测结果可以看出,经过定位后的彩色图像与标准图像的墨量大多数是一样的,少数的差值集中在品红色油墨的检测中,但相差均在 ± 0.10 内,但出现这种现象的主要原因,是在定位过程中采用的针对单通道的双立方插值的缘故,但总体上能够较好地满足墨量检测系统的检测要求。

将标准图像和定位图像载入到缺陷检测系统中^[8],进行适应性检测,检测结果见图 5。通过缺陷

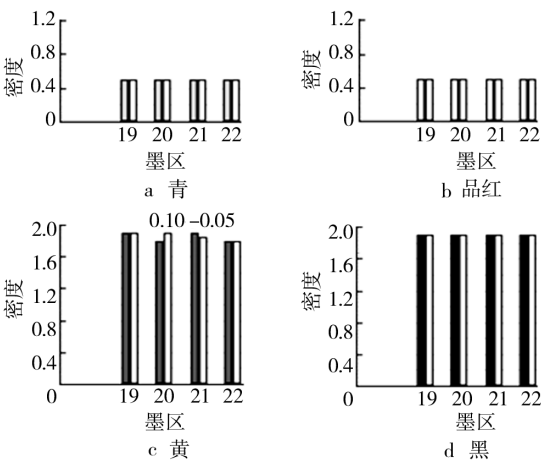


图 4 墨量检测结果

Fig. 4 Result of ink detection

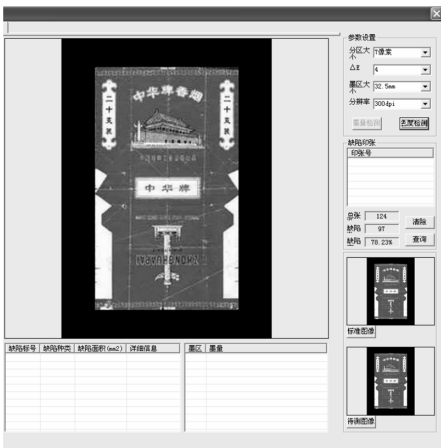


图 5 缺陷检测结果

Fig. 5 Result of defect detection

检测软件测试,可以看到在参数 $\Delta E=4$,即精细印刷

品色差范围内,定位后的图像被认定为合格品,即能够较好地满足缺陷检测系统的检测要求。

4 结语

结合印刷品全画面检测系统和印刷图像的特点,使用基于四元数法则的相位相关的定位方法,在有效利用图像的颜色信息的基础上,实现了检测系统中的标准图像和待测图像的像素级的定位,并且具有较好的鲁棒性。但仍存在一些问题,如在定位过程中使用的插值方法,虽然能够较忠实地还原图像,但对于后续印刷品的墨量检测有一定的影响;此外,在执行效率上,该定位方法还有待改进。

参考文献:

- [1] 韩九强. 机器视觉技术及应用[M]. 北京:高等教育出版社,2009.
HAN Jiu-qiang. Machine Vision Technology and its Applications[M]. Beijing: High Education Press, 2009.
- [2] WYAWAHARE Medha V. Image Registration Techniques: An overview[J]. International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition, 2009, 2(3): 11—26.
- [3] 刘卫光. 图像信息融合与识别[M]. 北京:电子工业出版社,2008.
LIU Wei-guang. Image Fusion and Recognition[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2008.

(上接第 71 页)

- HUANG Xue-jia, BAO Neng-sheng, XIE Rong-sheng, et al. Study on Full-Automatic Sheet Extruder with Integrated Process of Sucking Molding and Punching[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(7): 72—75.
- [3] SCHUT, JAN H. New Machinery for Thermoforming[J]. Plastics Technology, 2009, 55(9): 30—31.
- [4] GRANDE, JOE. Thermoforming: New Roll-fed Boost Output Systems Flexibility[J]. Plastics Technology, 2011, 57(1): 23—26.
- [5] 李彩虹. 塑料成型加工技术与装备的研究现状及发展[J]. 南京工业职业技术学院学报, 2005(2): 85—87.
LI Cai-hong. Current Development of Plastics Molding Technology and Its Equipment[J]. Journal of Nanjing Institute of Industry Technology, 2005(2): 85—87.
- [6] 战祥乐, 刘安静, 赵战峰. 包装机械用空间凸轮的设计与

- [4] 邢燕. 四元数及其在图形图像处理中的应用研究[D]. 安徽:合肥工业大学, 2009.
XING Yan. Research on Quaternion and Its Applications in Graphics and Image Processing[D]. Anhui: Hefei University of Technology, 2009.
- [5] SANGWINE S J, ELI T A, MOXEY C E. Vector Phase Correlation[J]. Electronics Letters Online IEE, 2001, 37(25): 1513—1515.
- [6] 罗华飞. Matlab GUI 设计学习手记[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2011.
LUO Hua-fei. Matlab GUI Design Study Manual[M]. Beijing: Beihang University Press, 2011.
- [7] 刘松涛, 杨绍清. 图像配准技术性能评估及实现概况[J]. 电光与控制, 2007, 14(3): 73—78.
LIU Song-tao, YANG Shao-qing. Performance Evaluation and Implementation of Image Registration Techniques: a Survey[J]. Electronics Optics and Control, 2007, 14(3): 73—78.
- [8] 徐敏, 唐万有, 马千里, 等. 基于 Blob 算法的印刷缺陷在线检测的研究[J]. 包装工程, 2010, 31(9): 20—23.
XU Min, TANG Wan-you, MA Qian-li, et al. Research of Printing Defect On-line Detection Based on Blob Algorithm[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(9): 20—23.
- [9] 马千里, 唐万有, 徐敏. 基于神经网络的印刷墨量在线检测研究[J]. 包装工程, 2010, 31(19): 101—104.
MA Qian-li, TANG Wan-you, XU Min. Research of Ink Quantity On-line Detection Based on Neural Network[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(19): 101—104.
- 加工[J]. 包装工程, 2006, 27(4): 125—126.
- ZHAN Xiang-le, LIU An-jing, ZHAO Zhan-feng. Design and Machining of Spatial Cam Used in Packaging Machine[J]. Plastics Technology, 2006, 27(4): 125—126.
- [7] 李斌, 杨春雷, 刘勇. 曲柄连杆机构运动及动力特性分析[J]. 机械, 2006, 33(1): 10—12.
- LI Bin, YANG Chun-lei, LIU Yong. Analysis on Characteristics of the Movement And Force Of Crank-Connecting Rod Mechanism[J]. Machinery, 2006, 33(1): 10—13.
- [8] 穆帅. 曲柄连杆机构的动力分析[J]. 装备制造技术, 2010(5): 12—12.
- MU Shuai. The Dynamic Analysis of Crank-link Mechanism[J]. Equipment Manufacturing Technology, 2010(5): 12—15.